

Janne Muukkonen

Siirrettävän lämpöakun suunnittelu

Tuusulan Energia

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinöörityö

23.5.2017

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Janne Muukkonen Siirrettävän lämpöakun suunnittelu 35 sivua + 2 liitettä 23.5.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Energia- ja ympäristötekniikka
Ohjaajat	Lehtori Jarmo Perttula Toimitusjohtaja Antti Vaittinen
<p>Tämän opinnäytetyön tavoite oli suunnitella siirrettävä lämpöakku. Se toteutetaan muuttamalla kuorma-autolla vedettävä raskaalle polttoöljylle suunniteltu säiliöperävaunu lämpöakuksi. Akkua on tarkoitus käyttää perinteisenä lämpölaitoksen akkana sekä siirrettävänä lämpöenergian lähteenä ulkoisiin kohteisiin.</p> <p>Akkuun valittiin käyttötarkoitukseen soveltuva täyte-aine. Tämän jälkeen tutkittiin erilaisia lämmönvaihtimia ja pumppuja, sekä mitoitettiin ja valittiin tähän käyttöön soveltuvat osat. Työssä myös mitoitettiin lämpöakkuun tarvittavat hydrauliset komponentit.</p> <p>Lämpöakusta laskettiin sen lämpökapasiteetti, ja eräitä lämpötehokäyriä. Lämpöakun käyttökohteisiin tarvittavista muutostöistä ja mahdollisista käyttötavoista laadittiin suunnitelmat. Lisäksi suunniteltiin lämpöakun latauskohteen muutostyöt, sekä laskettiin lataukseen tarvittava aika eri lataustehoilla.</p> <p>Työssä pohdittiin siirrettävälle lämpöakulle mahdollisia käyttökohteita. Lämmityskustannukset laskettiin käyttämällä akkua lämmitykseen verrattuna öljykattilan käyttämiseen. Lämpöakkuun suunniteltiin myös energianmittausjärjestelmä.</p> <p>Tämä opinnäytetyö sisältää pelkän suunnitelman muutoksista, eikä varsinaista toteutusta ole vielä tehty.</p>	
Avainsanat	Siirrettävä lämpöakku, lämpöakku

Author Title	Janne Muukkonen Design of a Mobile Thermal Bank
Number of Pages Date	35 pages + 2 appendices 23.5.2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical and Production Engineering
Specialisation option	Energy and Environmental Engineering
Instructors	Jarmo Perttula, Senior Lecturer Antti Vaitinen, CEO
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to design a mobile thermal bank. This will be carried out by converting a lorry-hauled heavy fuel oil tank trailer into a thermal bank. It is designed to be used as a traditional thermal bank for a heat plant and also as a mobile heat source for external locations.</p> <p>Firstly, a proper heat transfer fluid for this application was chosen. Secondly, different types of heat exchangers and pumps were studied. The appropriate pumps and heat exchanger were also determined and chosen for this application. In addition, all the hydraulic components required for this thermal bank were selected.</p> <p>The thermal capacity of the heat bank and various power plots calculated were. The necessary modifications for the user locations of this heat bank were designed. Furthermore, the possible methods of application for this heat bank were designed. The modifications and components for the charging location were planned and the charging times were calculated with various charging powers.</p> <p>Possible customer bases for this mobile heat bank were suggested. Also heating costs were calculated by comparing the costs of using a mobile thermal bank to an oil furnace. A system for measuring the used heat energy was designed as well.</p> <p>This thesis only contains the design of the mobile thermal bank. The implementation of the design has not been carried out since the mobile thermal bank has not been manufactured yet.</p>	
Keywords	Mobile Thermal Bank, Thermal Bank

Sisällys

Merkkien ja lyhenteiden selitykset

1	Johdanto	1
2	Työn tavoite	1
3	Käyttökohteet	2
3.1	Omat lämpökeskukset	2
3.2	Viljankuivaamot	2
3.3	Muut käyttökohteet	2
4	Hyödyt asiakkaille	3
4.1	Säästö öljylämmitykseen verrattuna	3
4.2	Alkuinvestoinnit	3
5	Perävaunun valinta	4
6	Akun täytös	6
6.1	Vesitäytös	6
6.2	Vesi-jäähdytysnesteseostäyttö	7
6.3	Seoksen vahvuuden määrittäminen	7
7	Akun kapasiteetti	8
8	Lämpöakun käyttö	9
8.1	Käyttöajat eri tehoilla	9
8.2	Akun käyttö ilman lämmönvaihdinta	10
9	Lämpöakun lataus	10
9.1	Latauskohteeseen tarvittavat muutokset	10
9.2	Latauspumpun valinta	13
10	Lämmönvaihdin	15
10.1	Yleistä lämmönvaihtimista	15
10.2	Vaihtimen sijoitus perävaunuun	18
11	Pumppu	19

11.1	Pumpun tarkoitus ja toiminta	19
11.2	Pumpun valinta	19
12	Virtalähde	23
13	Nesteliitännät	23
13.1	Sulkuventtiilit	23
13.2	Linjasäätöventtiili	24
13.3	Letkut	25
13.4	Lämpöeristys	26
13.5	Pikaliittimet	26
13.6	Instrumentointi	28
14	Energiamittari	29
14.1	Virtausanturi	30
14.2	Lämpöanturit	31
14.3	Päätelaite	32
15	Yhteenveto	33
	Lähteet	34
	Liitteet	
	Liite 1. Glykol-seoksen kuvaajat	
	Liite 2. Lämpöakun PI-kaavio	

Merkkien ja lyhenteiden selitykset

\dot{Q}	W (J/s)	watti	lämpötehon yksikkö
Q	J	joule	energian yksikkö
Q	MWh	megawattitunti	energian yksikkö
T	°C	celsiusaste	lämpötilan yksikkö
T	K	kelvin	lämpötilan muutoksen yksikkö
V	m ³	kuutiometri	tilavuuden yksikkö
m	kg	kilogramma	massan yksikkö
ρ	kg/m ³		tiheyden yksikkö
p	bar		paineen yksikkö
C _p	kJ/kgK		ominaislämpökapasiteetti
\dot{m}	kg/s		massavirta
\dot{V}	m ³ /h		tilavuusvirta
t	s (h)	sekunti (tunti)	aika
F	N	newton	voiman yksikkö
U	V	voltti	jännitteen yksikkö

1 Johdanto

Työn tavoite oli suunnitella siirrettävä lämpöakku Tuusulan Energia Oy:lle. Lämpöakun toimintaperiaate on varastoida lämpöenergiaa kuumassa nesteessä. Akun purkaminen tapahtuu välittämällä lämpöenergia akun sisältä käyttökohteeseen.

Lämpöakkuja käytetään tasaamaan muuttuvia lämpökuormia lämpöverkossa. Kuorman ollessa pieni akkua ladataan, ja akkua puretaan takaisin verkkoon kuorman ollessa suuri. Tässä tapauksessa akkua käytetään siirrettävänä lämpöenergian lähteenä.

Akku toteutetaan säiliöperävaunuun. Akkua voidaan ladata Tuusulan Energian Sulan ja Ristikiven puuhaketta polttavilla kaukolämpölaitoksilla. Lisäksi sitä voidaan käyttää tasaamaan lämpökuormaa näissä kohteissa. Muita käyttökohteita voivat olla mitkä tahansa paikat, kuten esimerkiksi viljankuivaamot tai rakennustyömaat.

Työssä suunnitellun siirrettävän lämpöakun tavoitteena on tarjota asiakkaille vaihtoehto oman öljykattilan hankkimiselle ja käyttämiselle. Akulla voidaan myös hetkellisesti lisätä lämpötehoa käyttökohteessa.

2 Työn tavoite

Työn tavoite oli suunnitella säiliöperävaunuun tarvittavat muutokset, jotta sitä voitaisiin käyttää siirrettävänä lämpöakkuna. Lämpöakusta täytyy laskea sen termodynaamiset tiedot. Lämpöakkuun valitaan täytösneeste, sekä mahdollinen lämmönvaihdin. Siihen mitoitetaan ja valitaan tarvittavat hydrauliset komponentit, kuten pumput ja venttiilit. Työssä suunnitellaan, miten akku liitetään käyttö- ja latauspisteisiin.

Automaation suunnittelu rajattiin pois tästä työstä. Akkuun valitaan lämpöenergian mittaussysteemi, jolla voidaan laskea sen käyttö. Työssä pohditaan mahdollisia käyttökohteita, sekä arvioidaan hyödyt lämpöakun käytöstä, verrattuna asiakkaan oman öljykattilan käyttöön. Lämpöakkuun suunnitellaan myös tarvittavat sähköliitännät.

3 Käyttökohteet

3.1 Omat lämpökeskukset

Kovilla pakkasjaksoilla akun voi viedä Tuusulan Energian Ristikiven lämpölaitokselle tasoittamaan lämpökuormaa. Näin tehden voidaan vähentää öljykattilan käyttöä kulutushuippujen aikaan. Lämpöakun avulla voidaan myös tasata Sulan laitoksen voimakkaasti muuttuvaa lämpökuormaa. Sulan laitoksen kuorma saattaa muuttua minuuttien aikana lähes 1 MW:n verran eli 40 % kattilan huipputehosta. Arinakattila on heikko vastaamaan näin nopeisiin kuorman muutoksiin. Lämpöakun avulla saadaan tasattua lämpökuorman muutos hyvin ilman, että koko kattila menee kylmäksi. Kattilan äkillinen jäähtyminen rasittaa sen metallirakenteita. Jos savukaasut kattilassa pääsevät jäähtymään alle 100 °C:n, ne alkavat kondensoitua kattilan pinnoille, aiheuttaen korroosiota.

3.2 Viljankuivaamot

Viljankuivaamot ovat lämpöakun tärkein kohderyhmä. Tuusulassa ja yleisesti keski-uudenmaan alueella harjoitetaan paljon maanviljelytoimintaa. Monella viljelijällä on oma öljykattilalämmiteinen viljankuivaamo. Öljykattiloiden teho kuivaamoilla on yleensä 500 - 700 kW. Viljankuivaamoiden sesonkiaika on yleensä elo-syyskuussa viljanpuinnin jälkeen.

3.3 Muut käyttökohteet

Lämpöakulle toivotaan kysyntää myös polttopuuklapin tekijöiltä. Klapikuivaamot vastaavat lämmitystavaltaan viljankuivaamoja, teho on tosin yleensä hieman pienempi. Hyviä käyttökohteita ovat myös pesulat ja rakennustyömaat.

4 Hyödyt asiakkaille

Vuokraamalla lämpöakun asiakkaan ei tarvitse hankkia omaa lämpökattilaa. Kattiloiden hinnat alkavat kymmenistä tuhansista euroista, ja etenkin satunnaisella käytöllä kattilan hankinta tulee todella kalliiksi. Sama pätee myös muihin lämmitysjärjestelmiin tässä kokoluokassa, kuten maa- tai ilmalämpöpumppeihin. Lämpöakun vuokraus on myös halvempaa kuin oman öljykattilan käyttö. Lisäksi lämpöenergia tuotetaan kotimaisella puuhakkeella eikä fossiilisilla polttoaineilla.

4.1 Säästö öljylämmitykseen verrattuna

Öljyn hinta vaihtelee paljon nykyään, mutta kirjoitushetkellä alkuvuonna 2017 lämmitykseen tarkoitettu kevyt polttoöljy maksoi noin 1 €/l. Kaukolämmöstä Tuusulan Energia Oy laskuttaa kiinteiltä kaukolämpöasiakkailta 70 €/MWh. Lämpöakun vuokraan lisätään vielä toimituskulut. Kevyen polttoöljyn alempi (toiselta nimeltään tehollinen) lämpöarvo on 42,7 MJ/kg. Tiheys on noin 0,85 kg/l. Oletetaan öljykattilan hyötysuhteeksi 0,8. Tästä voidaan laskea hinta-arvio öljyllä lämmittämiseksi seuraavasti.

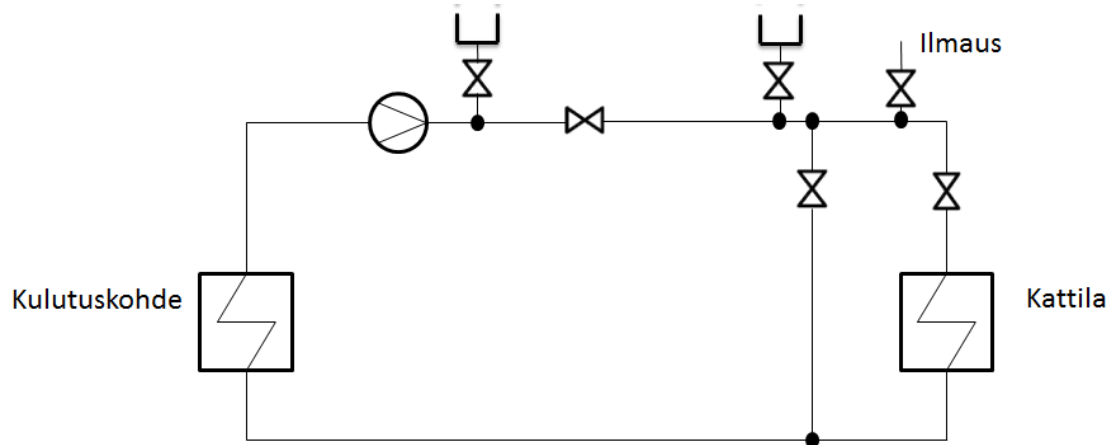
$$\frac{1 \frac{\text{€}}{\text{l}}}{42,7 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} * 0,85 \frac{\text{kg}}{\text{l}} * 0,8} = 0,034 \frac{\text{€}}{\text{MJ}} \approx 124 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$$

Hintaeron ollessa näin huomattava, voidaan akun käytöstä veloittaa hieman enemmänkin kuin kiinteiltä asiakkailta veloitettava 70 €/MWh. Hinta tulee suhteuttaa öljylämmitykseen. Öljyn hinta todennäköisesti ei laske nykyisestä ainakaan huomattavasti vaan ennemminkin nousee. Lopullisen käyttöhinnan ja kuljetuskustannukset päättää Tuusulan Energia Oy.

4.2 Alkuinvestoinnit

Asiakkaan tulee tehdä omaan verkkoonsa muutoksia, jotta akku voidaan kytkeä siihen. Käyttökohteen vesi täytyy pumpata akun lämmönvaihtimeen, ja sieltä asiakkaan kattilaan, tai sen ohi, suoraan verkkoon. Tätä varten täytyy käyttökohteen vesiputkiin asentaa pikaliittimet (kuva 1), joihin saa kytkettyä akusta tulevat letkut. Tarvitaan myös sulkuventtiilit näiden liittimien ja putkien väliin, ettei vesi pääse ulos kattilasta, kun akkua ei käytetä. Lisäksi pumpun ja kattilan väliin tulee asentaa sulkuventtiili, jotta vesikierto saadaan kulkemaan akun kautta.

Mikäli akulta palaava vesi halutaan ajaa kattilan ohi suoraan lämmönkulutuskohteeseen, täytyy asentaa kattilan ohittava putki sekä sulkuventtiilit, joilla voi valita ajetaanko vesi kattilaan vai siitä ohi. On myös suositeltavaa asentaa vesikierron korkeimpaan kohtaan helposti käsiteltävissä oleva ilmanpoistventtiili. Kun kattilan ja akun väliin kytketään pitkät täynnä ilmaa olevaa letkut, niin ilma siirtyy vesikierron korkeimpaan kohtaan, mistä se täytyy saada poistettua. Mikäli kattilaan jää liialti ilmaa, se voi aiheuttaa kuiviinkiehumisen ja vaurioittaa kattilaa.



Kuva 1 PI-kaavio käyttökohteen tarvittavista muutoksista

5 Perävaunun valinta

Perävaunun valintakriteerejä ovat hinta, ikä, tilavuus, alkuperäinen käyttötarkoitus ja varustus. Järkevin valinta on hankkia käytetty raskasöljyperävaunu, koska ne ovat valmiiksi lämpöeristettyjä. Raskasöljysäiliöt ovat myös osastoimattomia, toisin kuin muut polttoaineenkuljetussäiliöt. Raskasöljyvaunuissa on suurella halkaisijalla olevat putkitukset ja liitännät, jotta raskas polttoliy saadaan liikkumaan sen korkean viskositeetin takia. Nämä mahdollistavat tarvittaessa suuret tilavuusvirrat myös lämpöakkukäytössä.

Muissa säiliömalleissa kuljetetaan usein montaa eri polttoainelaatua kerralla eri osastoissa, eikä säiliöitä ole yleensä lämpöeristetty. Lisäksi Tuusulan Energian kuorma-autojen vedettäväksi sopii massaltaan parhaiten neliakselinen perävaunu. Useimmat polttoaineen kuljetukseen tarkoitetut perävaunut ovat neliakselisia (kuva 2).

Akkua ei haluta paineistaa, koska se vaatisi suuria muutoksia säiliöön. Painehyväksytyjä säiliöperävaunujakin on saatavilla, mutta ne ovat huomattavasti kalliimpia kuin raskasöljyperävaunut (myös harvinaisempia). Kattilan menovesi on 110 °C, joten ei ole järkevää hankkia huomattavasti kalliimpaa perävaunua 10 °C:n lisälämmön vuoksi. Paineistus aiheuttaisi myös turvallisuusriskin hydraulisessa rajassa eli lämmönvaihtimessa, kuten luvussa 6, akun täytös, selostetaan.

Mikäli hankitaan paineistettu säiliö, sen kuljettajalta vaaditaan ADR-perusajolupa, sekä ADR-säiliöajolupa. ADR-luvat vaaditaan, kun kuljetetaan tieliikenteessä vaarallisiksi luokiteltuja aineita. Vesi määritellään vaaralliseksi aineeksi, kun sen lämpötila ylittää 100 °C tai jos säiliö on paineistettu. Säiliön pitää ollakin paineistettu, jos veden lämpötila on yli 100 °C, ettei se ala kiehumään.

Säiliöissä on valmiiksi riittävät korvausilma- eli huohotuslinjat. Säiliöitä täytetään ja puretaan öljyä kuljetettaessa useiden satojen litrojen minuuttivauhdilla. Huohottimien toiminta tulee varmistaa, ennen kuin säiliö muutetaan lämpöakuksi. Säiliöt eivät kestä alipainetta juuri ollenkaan. Säiliö rutistuu kasaan, mikäli siihen tulee vuoto ja huohotin on tukkeutunut. Täyteaineen lämpötila muuttuessa myös sen ominaistilavuus muuttuu, mikä johtaa tarkoittaa paineen muutosta säiliössä. Tämä tilavuuden muutos on hyvin pieni, eli huohottimet kykenevät päästämään tarvittavan määrän korvausilmaa läpi.

Säiliön huipulle tulee myös lisätä myös vähintään 75 mm:n halkaisijalla oleva ylivuotoputki. Tämä putki päästää nesteen valumaan ulos säiliöstä, mikäli lämmönvaihtimeen tulee vuoto, ja käyttökohteen paineistettu vesi alkaa virtaamaan säiliöön. Ylivuotoputki tulee johtaa perävaunun pohjaan, ettei kuumaa nestettä pääse roiskumaan henkilöiden päälle. Putken päähän on suositeltavaa laittaa heikosti kiinni oleva muovitulppa. Jos putki täyttyy vedellä, tulppa irtaantuu itseksensä, mutta säiliöön ei pääse ilmaa sitä kautta normaalitilanteessa. Putken sijaintia valitessa täytyy huomioida, ettei sieltä pääse valumaan neste ulos, mikäli säiliö on kaltevalla alustalla.

Säiliöperävaunujen kantavuus ilmoitetaan usein tilavuutena kevyille polttoaineille, kuten bensiinille ja dieselöljylle. Näiden tiheys on noin 800 kg/m³ kun taas raskaan polttoöljyn ja vesi-glykol seoksen tiheys vaihtelee välillä 900 - 1050 kg/m³. Eli jos säiliön tilavuus on 35 m³, kevytöljykäytössä sinne voi laittaa 27 m³ vesi-glykolseosta.



Kuva 2 4-akselinen säiliöperävaunu [23]

6 Akun täytös

Akku voidaan täyttää joko vedellä tai vesi-glykolseoksella. Laskenta suoritetaan 35 m³ tilavuudella, ja voidaan tarvittaessa laskea uudelleen, jos hankittu säiliöperävaunu ei olekaan tämän kokoinen.

6.1 Vesitäytös

Veden käytössä akussa on hyvät ja huonot puolensa. Vedellä on erittäin hyvä lämmönsiirtokyky, ja sitä saa suoraan hanasta säiliöön edullisesti. Akkua ei kuitenkaan ole mahdollista seisottaa jatkuvasti latauspisteellä, koska se tukkii osittain ajoväylän. Näin ollen ellei akulle ole jatkuvaa kysyntää asiakkailta, niin sitä ei voida pitää lämpimänä jatkuvasti. Tämä johtaisi akun jäätymiseen talvella, mikä saattaisi rikkoa säiliön ja muita komponentteja. Tästä syystä akku tulisi tyhjentää talvea varten, jolloin sen uudelleen täyttö ja käyttöönotto tarvittaessa ei ole kovin kannattavaa pienemmillä urakoilla.

Tuusulan kunnassa vuonna 2016 vesimaksu oli 1,36 €/m³ ja jätevesimaksu 1,8 €/m³ ALV 0% [1]. Kertatäyttö maksaisi siis

$$35m^3 * (1,36 + 1,8)€/m^3 = 110,6€ \text{ ALV } 0\%.$$

Lisäaineettomassa vedessä alkaa nopeasti esiintymään bakteeri- ja leväkasvustoja, jotka eivät ole toivottavia.

6.2 Vesi-jäähdytysnesteseostäyttö

Jäähdytysnesteitä valmistetaan erilaisiin käyttötarkoituksiin, kuten polttomoottoreihin, työstökoneisiin ja maalämpöpumppuihin. Tämän työn kannalta on järkevintä tarkastella monopropyleeniglykolista valmistettavaa jäähdytysnestettä. Kyseistä ainetta käytetään maalämpöjärjestelmissä ja elintarviketeollisuuden prosesseissa, koska se ei ole myrkyllistä toisin kuin perinteinen monoetyleenipohjainen jäähdytysneste. Koska asiakkaita toivotaan viljankuivaamoita, tulee akussa käyttää myrkytöntä nestettä. Vesi-glykolseos voidaan pitää säiliössä vuosia ilman tyhjennystä. Vesi-glykolseoksen jäätymispiste on seoksen vahvuudesta riippuen 0 - -48 °C [2]. Myös kiehumispiste on jopa 107 °C 60 %:n seoksella.

Säiliöön tulee valita inhibiittejä sisältävä glykol. Inhibiitit ehkäisevät korroosiota metallipinnoissa. Ne estävät myös bakteeri- ja leväkasvustojen muodostumista säiliössä. Säiliön materiaali on ruostumatonta terästä, joten korrosio ei ole ongelma, mutta leväkasvustot on hyvä ehkäistä inhibiittien avulla.

Jäähdytysnesteseostäyttö osoittautuu järkevämmäksi vaihtoehdoksi, koska akussa voidaan säilyttää nesteet sisällä ympäri vuoden ilman jäätymis- ja pilaantumisvaaraa, ja näin ollen ottaa käyttöön aina tarvittaessa.

6.3 Seoksen vahvuuden määrittäminen

Glykolin ja veden seossuhde tulee määrittää kustannusten, jäätymispisteen, kiehumispisteen ja ominaislämpökapasiteetin perusteella. Seoksessa saa olla enintään 60 % glykolia, koska tätä vahvemmat seokset alkavat hylmääntymään. Jäätymispiste alkaa myös nousemaan takaisin kohti nollaa astetta yli 60 %:n seoksilla. Yleisesti käytetään 50 % seosta, etenkin ajoneuvoissa, koska sillä saavutetaan riittävä pakkasenkestävyys.

Lämpöakku-sovelluksessa ei kannata näin vahvaa seosta käyttää, koska glykolin ominaislämpökapasiteetti, ja näin ollen lämmönsiirtokyky, heikkenevät sen myötä, mitä enemmän seoksessa on glykolia.

Akkuun siis halutaan mahdollisimman mieto seos. Riittävä pakkasenkestävyys on $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tämä saavutetaan 45 %:sella glykoliseoksella (liite 1). Akun komponentit tulevat olemaan lämpöeristettyjä. Näin suuri määrä nestettä vaatii hyvin pitkän pakkasjakson, jotta seoksen lämpötila laskisi niin alas, että vaurioituminen olisi mahdollista. Kyseisellä seoksella saavutetaan kiehumispisteeksi $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ (liite 1). Ominaislämpökapasiteettikin pysyy $3,6\text{ kJ/kgK}$:ssä (liite 1).

7 Akun kapasiteetti

Akun lämpökapasiteetin määrittää sen sisältämä neste, sen määrä sekä käytettävä lämpötila-alue. Akussa on ladattuna $100\text{ }^{\circ}\text{C}$:ta lämmintä nestettä 35 m^3 :a. Vesi-glykoliseoksen ominaislämpökapasiteetti on 45 % seoksella $3,6\text{ kJ/kgK}$. Akun lämpökapasiteetti riippuu sen lämpötila-eroista. Akun lämpötila on korkeimmillaan $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja alin lämpötila riippuu käyttökohteesta. Oletetaan se $20\text{ }^{\circ}\text{C}$:seen. Kuivaamoilla lämmitetään ulkoilmaa jolloin paluuvesi on näinkin viileää, mutta muissa kohteissa todellisempi lämpötila on noin $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. $20\text{ }^{\circ}\text{C}$:lla saadaan lämpötila-alueeksi 80 K , jonka avulla voi laskea akun lämpökapasiteetin seuraavasti.

$$Q = V\rho C_p \Delta T$$

$$Q = 35\text{ m}^3 * 1038 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 3,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}} * 80\text{ K} = 10,46 * 10^6 \text{ kJ} \approx 2,9\text{ MWh}$$

8 Lämpöakun käyttö

8.1 Käyttöajat eri tehoilla

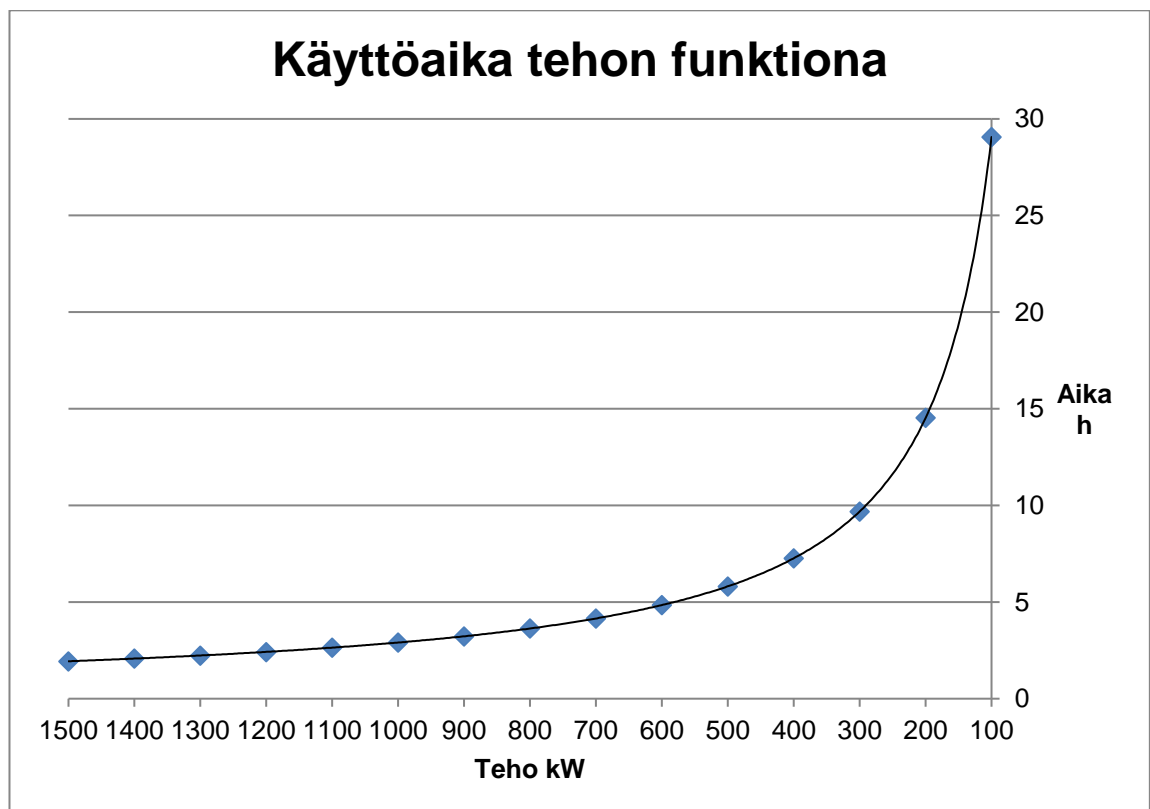
Akun teho määritetään vaihtimen läpi kulkevien nesteiden massavirroilla ja lämpötilaeroilla. Akun käyttöaika voidaan laskea tehon avulla seuraavasti

$$t = \frac{Q}{\dot{Q}}$$

$$t = \frac{10,46 * 10^6 kJ}{800 \frac{kJ}{s}} = 13078s \approx 3h 40 min$$

Esimerkkilaskussa käytettiin 800 kW:n tehoa. Samalla kaavalla voidaan laskea käyttöaika eri tehoille ja sijoittaa tulokset kuvaajaan.

Kuvaajasta 1 nähdään, että akkua voi käyttää yli vuorokauden ajan 100 kW:n teholla. Tästä on hyötyä etenkin Ristikiven laitoksella käytettäessä. Siellä riittää kylmällä kelillä 100 - 200 kW: lisäteho, jolloin öljykattilaa ei tarvitse käynnistää. Akusta saatavaan tehoon vaikuttaa myös asiakkaan vesipiirin massavirta.



Kuvaaja 1 Akun käyttöaika tehon funktiona

8.2 Akun käyttö ilman lämmönvaihdinta

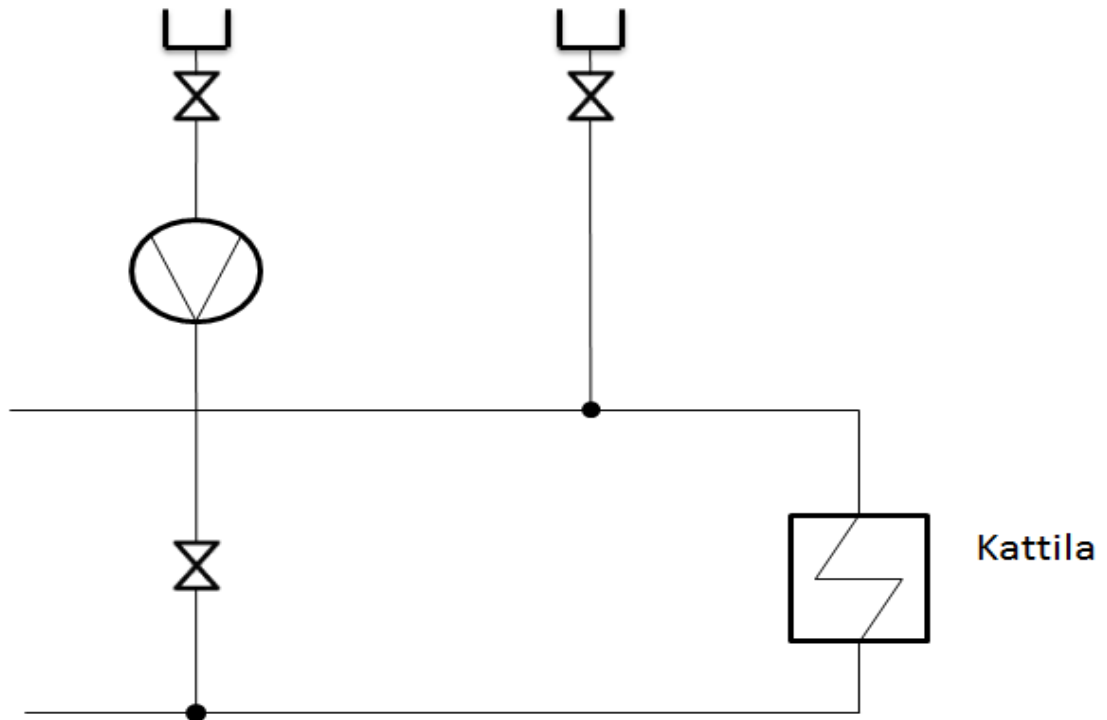
Akun sisäiseen kiertoon hankitaan taajuusmuuttajalla varustettu nestekiertopumppu, jolla voidaan alentaa pumpun tuottamaa tilavuusvirtaa, mikä johtaa tehon alenemiseen. Tällä tavoin akkua voidaan käyttää kauemmin, mutta pienemmällä teholla.

Akkua voidaan myös käyttää ilman lämmönvaihdinta, jos siihen tehdään letkuille liitännät ennen vaihdinta. Tämä on hyödyllistä esimerkiksi käytettäessä rakennustyömailla, joissa ei välttämättä ole ollenkaan omaa vesikiertopiiriä. Akkuun voidaan kytkeä suoraan lämmityslaite, johon akusta kiertää neste akun omalla pumpulla.

9 Lämpöakun lataus

9.1 Latauskohteeseen tarvittavat muutokset

Akkua ladataan pääsääntöisesti Tuusulan Energian Palkkitien lämpölaitoksella. Hakekattilan teho siellä on 2,5 MW. Kesäaikaan kuorma on tyypillisesti noin 700 kW ja talvella 1500 kW. Laitokseen täytyy asentaa putket kattilan meno- ja paluulinjoista akun latauspisteen lähelle. Näiden putkien päähän tarvitaan sulkuventtiilit, sekä pikaliittimet. Lisäksi paluuputkeen on asennettava pumppu, joka pumppaa vettä lämmönvaihtimesta kattilan paluulinjaan, ja kattilan kautta takaisin vaihtimeen (kuva 3).



Kuva 3 Latauspisteeseen tarvittavat muutokset

Akkun syötettävä kattilan menovesi on 110 °C, ja paluulämpötila muuttuu sitä mukaa, kun akku latautuu. Pumpun tarvittava tuotto lasketaan sen perusteella, kuinka paljon akku kykenee ottamaan tehoa vastaan. Taulukkoon 1 on laskettu akun tehoa siihen syötettävän veden lämpötilan ja akun sisäisen lämpötilan eron ja tilavuusvirran mukaan.

Taulukko 1 Virtauksen ja lämpötilan vaikutus tehoon

ΔT	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
m ³ /h	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW
20	2076	1868	1661	1453	1246	1038	830	623	415	208
18	1868	1682	1495	1308	1121	934	747	561	374	187
16	1661	1495	1329	1163	996	830	664	498	332	166
14	1453	1308	1163	1017	872	727	581	436	291	145
12	1246	1121	996	872	747	623	498	374	249	125
10	1038	934	830	727	623	519	415	311	208	104
8	830	747	664	581	498	415	332	249	166	83
6	623	561	498	436	374	311	249	187	125	62
4	415	374	332	291	249	208	166	125	83	42
2	208	187	166	145	125	104	83	62	42	21

Taulukosta 1 nähdään, että akku kykenee yli 2 MW:n lataustehoon, mutta sitä ei voida ladata näin suurella teholla, koska kattilassa ei riitä teho muille asiakkaille samalla. Sopiva latausteho on noin 1 MW. Pumpulle halutaan kuitenkin 2 MW:n tehoa vastaava tuotto, jotta latausteho pysyy suurena myös loppuvaiheessa, lämpötila-eron ollessa pieni. Latauksen alussa tehoa rajoitetaan akussa olevan moottoriventtiilin avulla. Pumpun tarvittava maksimituotto voidaan todeta ominaislämpökapasiteettien perusteella. Glykol-seoksen ominaislämpökapasiteetti on 3,6 kJ/kgK ja veden noin 4,2 kJ/kgK. Veden lämmönsiirtokyky on siis parempi kuin glykol-seoksella, joten pumpun ei tarvitse olla niin tehokas, kuin akussa oleva pumppu. Tämä voidaan laskea glykolseoksen massavirralla verrannon avulla seuraavasti

$$\frac{\dot{V}}{3600} * \rho = \dot{m}$$

$$\dot{m}_{akku} = \frac{20 \frac{m^3}{h}}{3600} * 1038 \frac{kg}{m^3} = 5,57 \frac{kg}{s}$$

$$\dot{m}_{vesi} = \frac{\dot{m}_{akku}}{C_{p_{vesi}}} * C_{p_{akku}}$$

$$\frac{5,57 \frac{kg}{s}}{4,2 \frac{kJ}{kgK}} * 3,6 \frac{kJ}{kgK} = 4,94 \frac{kg}{s} \approx 17 \frac{m^3}{h}$$

Massavirrat latauksen alussa akun ollessa kylmä voidaan laskea lataustehon avulla seuraavasti.

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{\Delta T * C_p}$$

Latauksen lopussa akun lämmitessä voidaan laskea latausteho käyttämällä suurinta massavirtaa.

$$\dot{Q} = \dot{m} * C_p * \Delta T$$

Näiden kaavojen avulla saatiin taulukko 2 lataukseen tarvittavista tiedoista.

Taulukko 2 Akun lataustiedot

T akku	ΔT	\dot{m}	V	\dot{Q}
°C	°C	kg/s	m ³ /h	kW
0	110	2,16	7,79	1000
10	100	2,38	8,57	1000
20	90	2,65	9,52	1000
30	80	2,98	10,71	1000
40	70	3,40	12,24	1000
50	60	3,97	14,29	1000
60	50	4,76	17,14	1000
62	48	4,94	17,78	1000
70	40	4,94	17,78	830
80	30	4,94	17,78	622
90	20	4,94	17,78	415
100	10	4,94	17,78	207

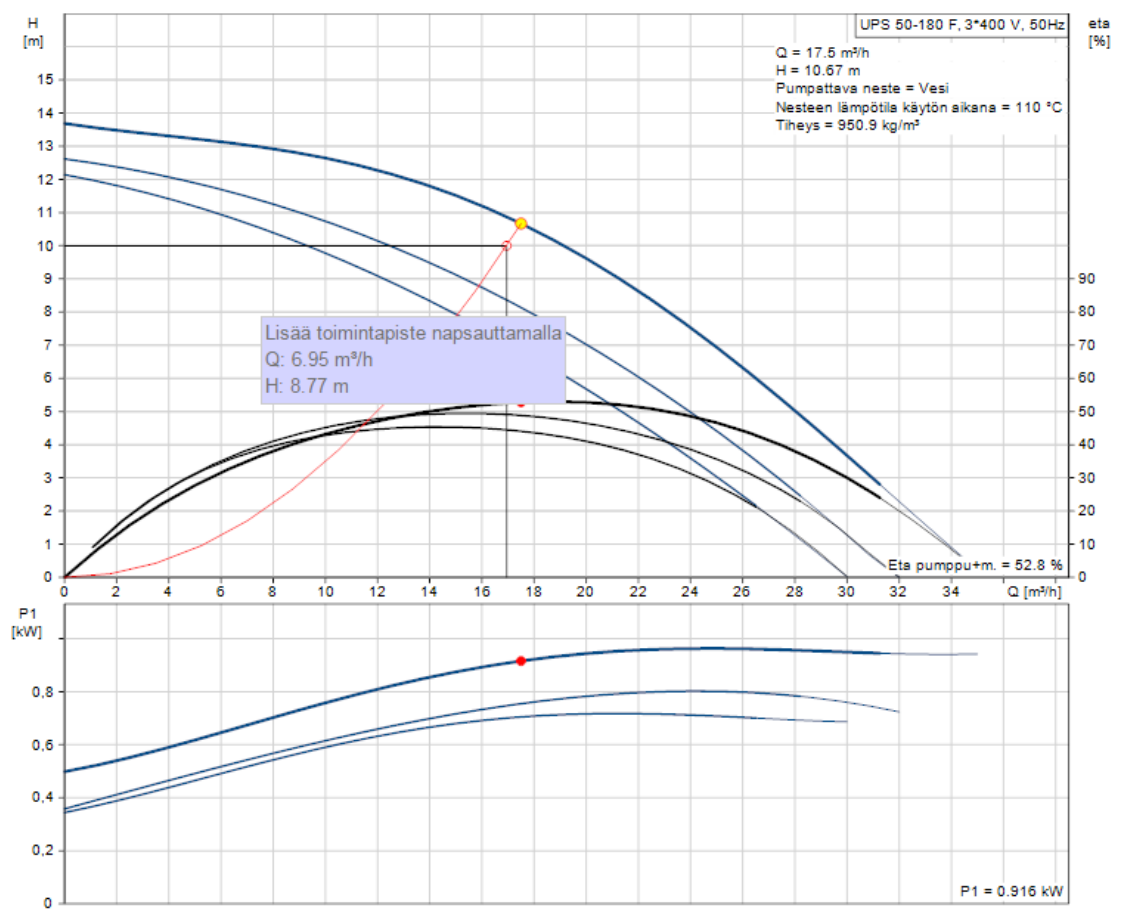
Taulukosta nähdään että lämpötilaeron ollessa 48 °C, massavirta saavuttaa suurimman arvonsa, ja latausteho alkaa pienentyä.

9.2 Latauspumpun valinta

Pumppu päätettiin tilata Grundfosilta, koska heidän pumppuihinsa Tuusulan Energia Oy on ollut tyytyväinen. Lataukseen käytettävä pumppu halutaan DN 50-putkeen, kuten muutkin akun osat. Grundfosilla on internetsivuillaan pumpun valintaan suunniteltu konfiguraattori. Konfiguraattoriin pitää syöttää pumpun sovellukseen tarvittavat lukuarvot, ja konfiguraattori määrittelee sopivia pumppuja, joista voi valita mieleisen. Pumpuksi haluttiin in-line-tyyppinen mahdollisimman yksinkertainen ratkaisu 1 barin paineenkorotuksella ja 17 m³/h tilavuusvirralla. Sopivin konfiguraattorin tarjoama vaihtoehto on UPS-sarjan keskipakopumppu, tarkalta tuotetunnukseltaan UPS 50-180 F – 96402136 (kuva 4). Kuvassa 5 on esitetty kyseisen pumpun tuotto- ja NPSH-käyrät.



Kuva 4 Grundfosin UPS-pumppu [24]



Kuva 5 Latauspumpun tuotto- ja NPSH-käyrä [24]

10 Lämmönvaihdin

Lämmönvaihdin eli toiselta nimeltään lämmönsiirrin välittää lämpöenergiaa nesteestä tai kaasusta toiseen, sekoittamatta niitä keskenään. Koska akussa käytetään glykolia seosaineena, niin tarvitaan lämmönvaihdin, ettei glykol sekoitu asiakkaan vesikiertoon. Vaihdin tarvitaan myös akun ja käyttäjäpuolen paine-eron takia. Akku on normaalipaineessa 1 bar, kun taas käyttäjäpuoli on paineistettu välille 1,5 - 4 bar, kuten kattilalaitoksilla on tapana. Paineistuksella estetään veden kiehuminen kattilassa. Kattilan sisällä voi lämpötila nousta tietyissä pisteissä huomattavasti yli asetetun lämpötilan, etenkin jos virtausnopeudet ovat pieniä. Kiehuminen kattilassa on vaikutukseltaan verrattavissa kavitaatio-ilmioon pumpuissa. Veden kiehuessa paikallisesti syntyy höyrykuplia, jotka jäähtyessään lyssähtävät kasaan takaisin nesteeksi ja aiheuttavat seinämissä kuoppaantumista. Lämmönvaihtimen kytkentäkaavio näkyy liitteessä 2.

10.1 Yleistä lämmönvaihtimista

Lämmönvaihtimet jaetaan kahteen eri luokkaan; rekuperaattoreihin ja regeneraattoreihin. Rekuperaattorissa on kaksi jatkuvaa vastakkaissuuntaista seinämän erottamaa ainevirtaa. Lämpöenergia siirtyy tässä tapauksessa vakioteholla kuumemmasta aineesta kylmempään. Regeneraattorissa ainevirtojen suuntia vaihdellaan ja lämpöä siirretään kiinteään rakennelmaan. Lämpöakun voidaan olettaa olevan tasalämpöinen, koska se on näin matala, niin vesi ei pääse kerrostumaan lämpötilan mukaan akkua käytettäessä. Tästä syystä lämpöakkukäyttöön sopii paremmin rekuperaattorityyppinen lämmönvaihdin.

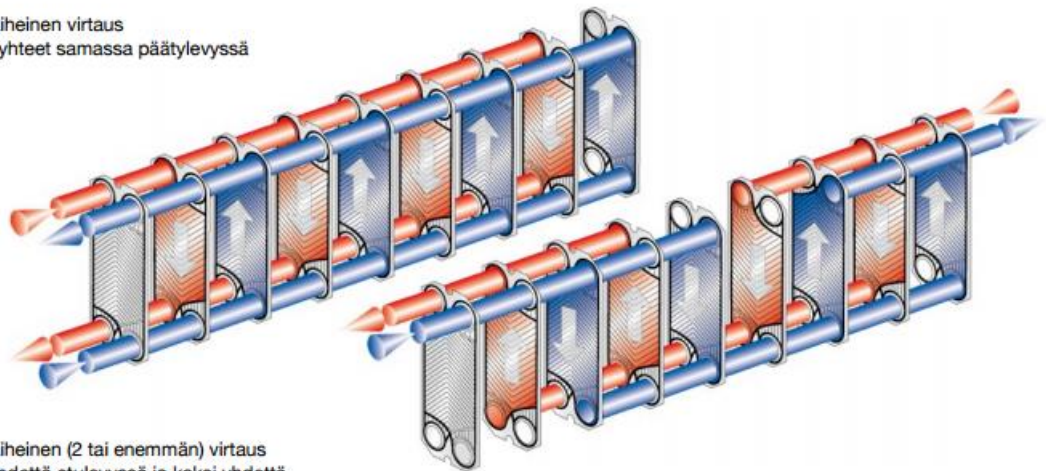
Lämmönvaihtimia on monia eri tyyppisiä, kuten levy-, putki-, kierukka- ja lamellilämmönvaihtimia (kuva 6). Tähän kokoluokkaan soveltuu parhaiten yleisesti käytössä oleva levylämmönvaihdin. Levylämmönvaihtimessa on päällekkäin monta kerrosta uritettuja levyjä, joita pitkin neste kulkee. Levyn toisella puolella kulkee toinen neste.



Kuva 6 Energiatukku.fi:n levylämmönvaihdin [3]

Lämmönvaihtimen liitännät eli yhteennot voivat olla samalla puolella vaihdinta eri reunoissa tai vastakkaisella puolella, riippuen siitä onko lämmönvaihtimen kierto yksi- vai monivaiheinen. Nesteet virtaavat lämmönvaihtimessa toisiaan vastaan. Lämmitettävä neste ohjataan ensin lämmittävän nesteen poistumiskohtaan missä se on kylmintä. Lopuksi lämmitettävä neste kulkee lämmittävän nesteen tulokohtaan missä se on kuuminta. Näin saavutetaan tehokkaampi lämmönsiirto kuin myötävirtaa käytettäessä (kuva 7).

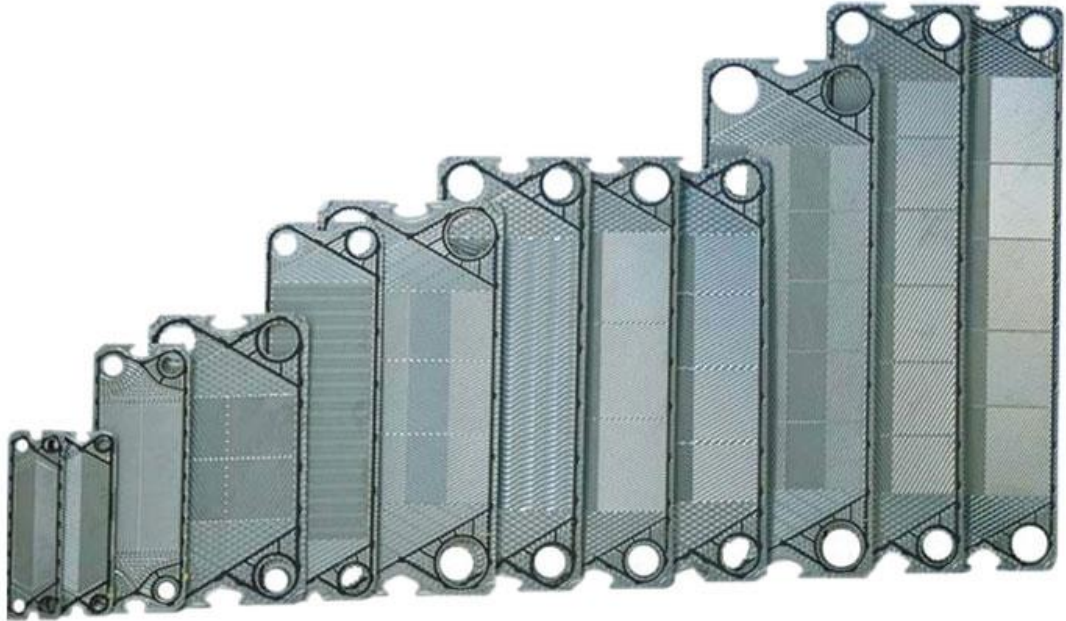
Yksivaiheinen virtaus
kaikki yhteennot samassa päätylevyssä



Monivaiheinen (2 tai enemmän) virtaus
kaksi yhdettä etulevyssä ja kaksi yhdettä
takalevyssä

Kuva 7 Levylämmönvaihtimen vaiheisuus ja virtaussuunta [4]

Lämmönvaihtimen levyissä käytetään monia erilaisia uraprofiileja. Profiilin muoto ja koko vaikuttavat tilavuusvirtaan, jonka vaihdin päästää läpi. Jotkin profiilit ovat myös itsepuhdistuvia, eli epäpuhtaudet jotka vaihtimeen kulkeutuvat, menevät siitä läpi eivätkä tuki levyjä. Jotkin vaihtimet täytyy purkaa puhdistusta varten (kuvat 8 ja 9).



Kuva 8 Erilaisia levyprofiileja [5]



Kuva 9 V-Profiilin lämmönvaihdinlevy [6]

Levyt voidaan liittää toisiinsa joko puolihitsaamalla, juottamalla tai tiivisteiden ja puristuspannan avulla. Suunniteltuun lämpöakkuun soveltuu parhaiten juottamalla valmistettu lämmönvaihdin. Kumiseostivisteet eivät kestä suuria lämpötilan vaihteluita kauaa, ja niiden alimmaksi käyttölämpötilaksi ilmoitetaan -20 °C [4]. Akku suunnitellaan käytettäväksi -30 °C :sta ylöspäin. Juotettujen lämmönvaihtimien käyttölämpötila-alue on $-160\text{ °C} - +200\text{ °C}$ [7].

Lämmönvaihtimeksi valittiin ViFlow:n GPLK-sarjan levylämmönvaihdin. Sarjaa markkinoidaan sen korkeatasoisella lämmönsiirtokyvyllä ja itsepuhdistuvuudella sekä pienellä painehäviöllä myös alhaisilla virtausnopeuksilla. Sarjassa käytetään V-profiilisia kuparijuotettuja lämmönvaihtolevyjä. Suurin sallittu käyttöpaine on 30 bar. Teholuokka näillä lämmönvaihtimilla on 2 – 4000 kW. GPLK-sarjaa suositellaan alhaisen viskositeetin nesteille kuten glykolille ja vedelle.

10.2 Vaihtimen sijoitus perävaunuun

Mitä lähemmäs vaihdin saadaan käyttökohdetta, sitä lyhyemmät letkut tarvitaan yhdistämään vaihdin asiakkaan verkkoon. Lyhyemmät letkut tarkoittavat pienempää lämpöhäviötä matkalla. Vaihtimen sijoituksessa tulee huomioida helppo pääsy liitännöille sekä ilmaus- ja tyhjennysputuille.

Säiliöperävaunuissa on kyljessä tai perässä kaappi, mihin putket tulevat säiliöltä. Paras paikka lämmönvaihtimelle on tämän kaapin sisällä, jos se mahtuu sinne. Tämä on paras paikka, koska tarvitaan lyhyet letkut tai putket, joilla yhdistää lämmönvaihdin säiliön omiin putkiin. Lisäksi kaappitila on suojassa vedeltä ja tiesuolalta, mikä ehkäisee komponenttien korroosiota. Nestekiertopumppu ja energiamittari täytyy myös saada sääoloilta suojattuun tilaan.

11 Pumppu

11.1 Pumpun tarkoitus ja toiminta

Perävaunussa säiliön ja lämmönvaihtimen välillä tulee olla pumppu, jolla neste saadaan liikkumaan säiliöstä vaihtimeen ja takaisin. Pumpun asennuksessa tulee huomioida mahdollisimman tehokas akun lataus ja käyttö. Vesikierto tulee saada sellaiseksi, että vaihtimesta palaava vesi ei mene säiliössä takaisin lähelle pumpun imulinjaa, jolloin vaihdin jäähtyy nopeasti, vaikka akussa olisikin vielä kapasiteettia. Lämpöakkuun on myös lisättävä ohitusputki, jonka kautta nestettä voidaan pumpata tarvittaessa vaihtimen ohi.

Pumpun tulee olla varustettu taajuusmuuttajalla, jotta virtausmäärää voidaan muuttaa halutun tehon aikaansaamiseksi. Mitä pienempi on massavirta on säiliöstä vaihtimeen, sitä pienempää tehoa akusta luovutetaan, ja sitä kauemmin akku kestää.

Pumppuja on erityyppisiä kuten esimerkiksi keskipako-, kalvo-, hammaspyörä- ja mäntäpumppu. Tähän kyseiseen käyttöön soveltuu parhaiten keskipakopumppu sen säädettävyyden vuoksi. Useimmat pumput ovatkin keskipakopumppuja. Keskipakopumpun toiminta perustuu pyörivään siipipyörään. Neste johdetaan siipipyörän keskiosa, missä se saa pyörän kehän tangentin suuntaisen nopeuskomponentin ja paineen lisäyksen.

11.2 Pumpun valinta

Pumpulta vaadittava tuotto riippuu siitä, kuinka paljon tehoa akusta halutaan saada, milläkin lämpötila-erolla. Pumpulta vaadittava tuotto voidaan laskea määrittämällä haluttu teho, tietyllä lämpötila-erolla.

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{\Delta T * C_p}$$

Viljankuivaamot ovat pääasiallinen kohderyhmä, ja niiden teho on yleensä enintään 800 kW. Pumpusta haluttiin sellainen, että 800 kW:n tehoa pystytään tuottamaan mahdollisimman pienellä lämpötila-erolla. Massavirta laskettiin esimerkissä 80 K:n lämpötila-erolla. Lämpötila-eroa muuttamalla saatiin laskettua tulokset taulukkoon 3. Tulokset muutettiin yksikköön m³/h kuvaajaa 2 varten.

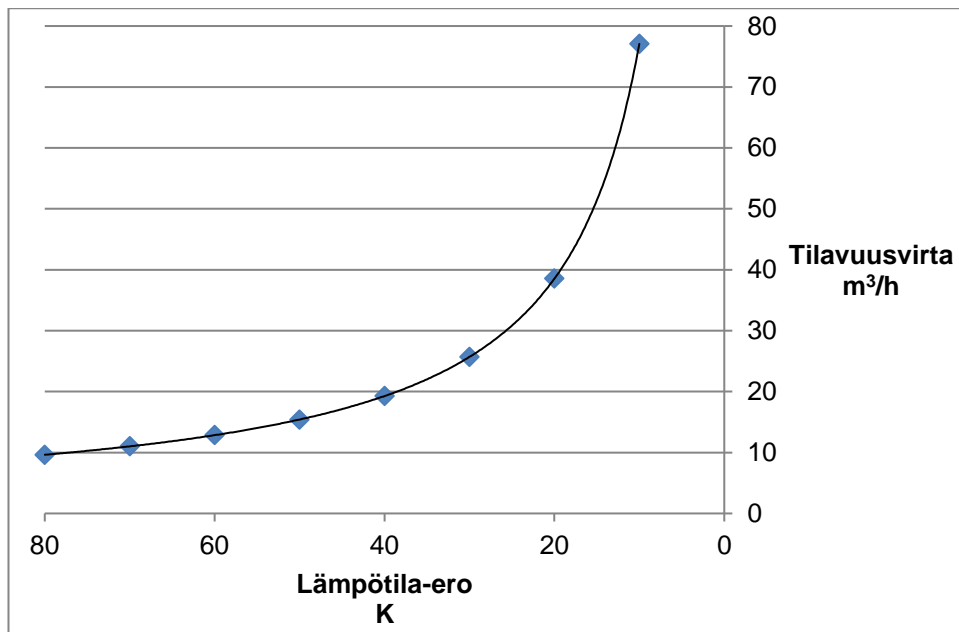
$$\dot{m} = \frac{800kW}{80K * 3,6 \frac{kJ}{kgK}} = 2,78 \frac{kg}{s}$$

$$\dot{V} = \dot{m} * \frac{3600}{\rho}$$

$$\dot{V} = 2,78 \frac{kg}{s} * \frac{3600}{1038 \frac{kg}{m^3}} = 9,6 \frac{m^3}{h}$$

Taulukko 3 Massavirrat lämpötila-eron funktiona

ΔT K	\dot{Q} kW	\dot{m} kg/s	\dot{V} m ³ /h
80	800	2,78	9,63
70	800	3,17	11,01
60	800	3,70	12,85
50	800	4,44	15,41
40	800	5,56	19,27
30	800	7,41	25,69
20	800	11,11	38,54
10	800	22,22	77,07



Kuvaaja 2 Tarvittava tilavuusvirta suhteessa lämpötila-eroon

Kuvaajasta 2 nähdään, että 20 m³/h tilavuusvirta mahdollistaa 800 kW:n tehon vielä 40 K:n lämpötila-erolla. Pumpusta tulee fyysisesti liian iso alle 40 K:n lämpötila-eroille mentäessä. Tarvittava tilavuusvirta alkaa kasvamaan rajusti, tätä pienemmillä lämpötila-eroilla.

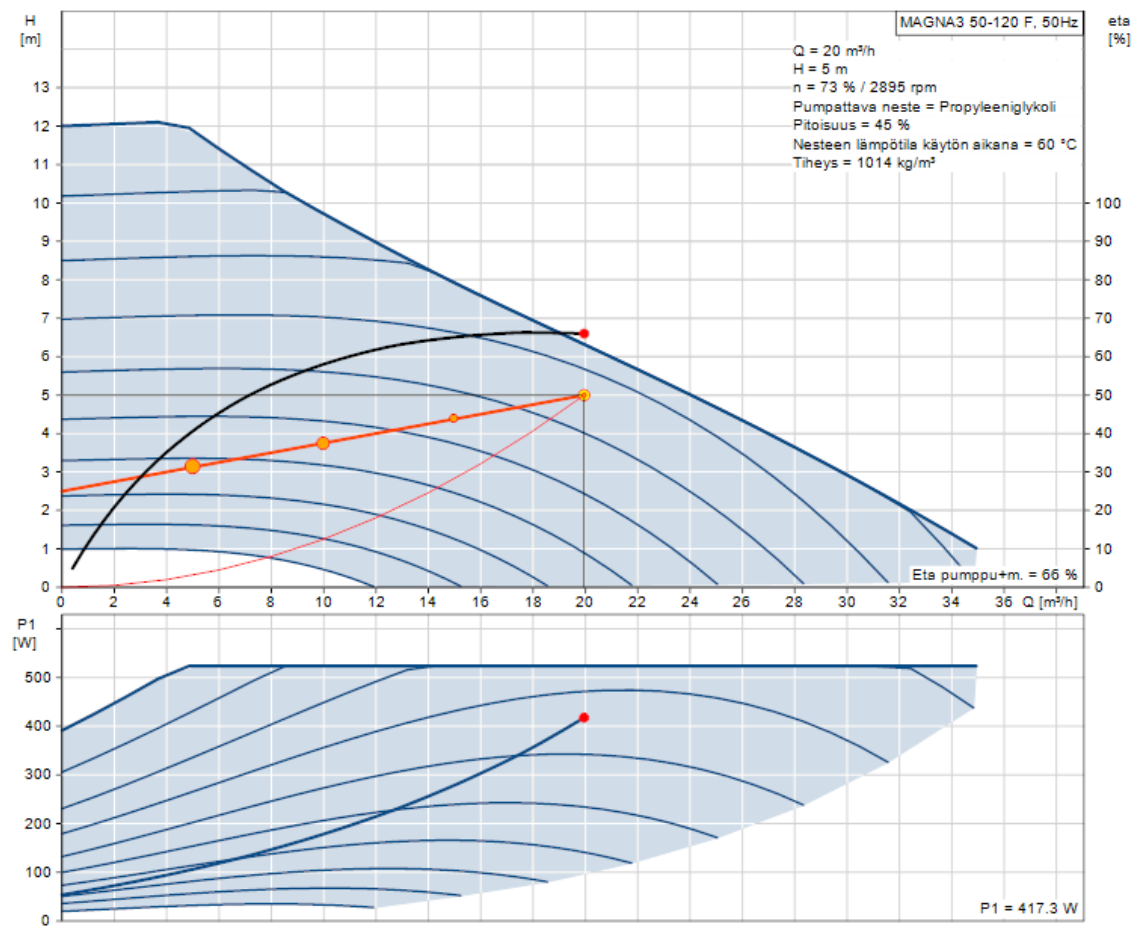
Pumppu valitaan Grundfosin konfiguraattorilla. Akkuun valittiin sellainen pumppu, joka kykenee tuottamaan 20 m³/h tilavuusvirran ja 0,5 barin paineen. Pumppuun haluttiin kiinteä taajuusmuuttaja, jolla tuottoa voidaan rajoittaa. Tehon rajoitus onnistuu myös moottoriventtiilillä vaihtimen vesipuolella.

Pumpun tuottokäyrään haluttiin jättää jonkin verran marginaalia, jotta se jaksaa tuottaa tarvittavan tilavuusvirran myös nesteen ollessa hyvin kylmää, jolloin viskositeetti on suuri. Pumpun tuottama maksimitilavuusvirta täydellä teholla on noin 34 m³/h 0,2 barin paineella. Pumpuksi valikoitui MAGNA-sarjan keskipakopumppu (kuva 10). Tarkka mallikoodi on MAGNA3 50-120 F - 97924284.

Kyseinen sarja on varustettu kiinteällä taajuusmuuttajalla. Kyseinen pumpputyyppi on niin sanotusti in-line-asennettava, eli se tulee suoraan putkeen kiinni. Pumppu imee toisesta päästä putkesta ja tuottaa toiseen päähän. Liitäntälaipat ovat DN 50, joka on sama koko kuin lämmänvaihtimessa. Kyseisen pumpun moottori tarvitsee 230 V:n jännitelähteen toimiakseen. Kuvassa 11 on esitetty pumpun tuotto- ja NPSH-käyrät.



Kuva 10 Grundfossin MAGNA3-pumppu [12]



Kuva 11 Pumpun tuotto- ja NPSH-kuvaajat [12]

12 Virtalähde

Perävaunussa täytyy olla virransyöttö, jotta pumppu sekä energiamittari toimivat. Virtalähteeksi voidaan harkita akustoa, aggregaattia, vetoautoa tai virransyöttöä käyttökohteesta.

Akuston tai aggregaatin valinta mahdollistaisi akun käytön, vaikka käyttökohteesta ei saisikaan virtaa. Nämä ratkaisut vievät huomattavasti tilaa perävaunusta, jossa tila on muutenkin vähissä.

Järkevin ratkaisu on siis vetää jatkojohto perävaunuun, johon energiamittari, pumppu ja muut mahdolliset varusteet voidaan kytkeä. Voidaan olettaa että käyttökohteesta saadaan virtaa, koska akun toiminta edellyttää asiakkaan puolellakin olevan oma vesikierto, eli siellä on myös virtaa vaativa pumppu.

Lämpöakun suurin virrankuluttaja on pumppu, joka vaatii 540 W:n sähkötehoa 230 V:lla. Akkuun riittää verkkovirran syöttö. Akun komponentit voidaan liittää valmiiksi akun sisäisiin sähköjohtoihin. Nämä johdot yhdistetään yhteen jatkojohtoon, joka liitetään käyttökohteeseen.

13 Nesteliitännät

Liitännät on esitetty PI-kaaviossa liitteessä 2.

13.1 Sulkuventtiilit

Akkuun tarvitaan 9 kappaletta sulkuventtiileitä. Näiden avulla voidaan sulkea nesteen pääsy pois tiettyihin osiin tarpeen mukaan. Venttiilit on hyvä asentaa myös heti ensimmäiseksi komponentiksi säiliön jälkeen. Akkuun käytetään 50 mm:n osia. Jos putkistoissa tai komponenteissa on jotain vikaa, voidaan säiliön tyhjentäminen estää sulkemalla venttiilit. Tämän ansiosta esimerkiksi pumpun huoltoa varten ei tarvitse tyhjentää koko säiliötä.

Tarvitaan myös yksi sulkuventtiili, jolla valitaan kiertääkö akun neste lämmönvaihtimen kautta vaiko sen ohi käyttökohteeseen. Lisäksi kannattaa asentaa yksi vaihtimen ohittava, normaalisti suljettu linja, jota pitkin nestettä voidaan kierrättää akun sisällä.

Ilmanpoistoputkeen täytyy myös asentaa sulkuventtiili, jolla päästetään ilmaa pois vaihtimesta tarvittaessa. Sulkuventtiilit tulee asentaa myös ennen jokaista neljää letkun pikaliitintä, ettei akku valu tyhjäksi niistä.

13.2 Linjasäätöventtiili

Vaihtimen vesipuolelle asennetaan linjasäätöventtiili rajoittamaan virtausta. Tämän avulla hoidetaan tehonsäätö automaattisesti käyttäjän puolella. Energiamittari ohjaa linjasäätöventtiilin toimintaa. Venttiiliin tarvitaan pieni sähkömoottori toimilaitteeksi, joka avaa ja sulkee sitä.

Virtaussäätöön valittiin istukkaventtiili Danfossilta toimilaitteineen (kuva 12). AME 25-toimilaite toimii moduloivalla ohjauksella ja säättää venttiiliä lämpötilan mukaan. Voimaa kyseisellä toimilaitteella on 1000 N, joka mahdollistaa 3 barin paine-eron venttiiliin [20]. Kyseinen toimilaite käyttää 24 V:n tasavirtaa ohjaukseen, joka saadaan myös energiamittarista. Venttiiliksi valittiin VF2-istukkaventtiili 50 mm:n laippaliitännällä ja 40 m³/h maksimivirtaamalla (kuva13). Toimintalämpötilat tällä venttiilillä ovat välillä -30 °C - +130 °C [21]. Toimilaitteen ja venttiilin ohjelmointi sekä säätö tilataan Kamstrupilta.



Kuva 12 Danfossin istukkaventtiilin toimilaite AME 25 [19]



Kuva 13 Danfossin VF2-istukkaventtiili [22]

13.3 Letkut

Lämpöakun liittämiseen käyttökohteeseen tarvitaan letkut, joilla vettä saadaan siirrettyä akulle ja takaisin käyttöön lämmitettynä. Samoja letkuja tulee myös voida käyttää, kun akkua käytetään ilman lämmönvaihdinta. Järkevin valinta on hankkia kumiset vesiletkut. Letkuja on saatavilla monilta eri valmistajilta, moniin eri tarkoituksiin. Tähän käyttöön tarvitaan letkut, jotka kestävät 4 barin työpaineen ja 100 °C:n lämpötilan. Letkujen on täytyy myös kestää pakkasta tyhjänä, jotkut kumimateriaalit menevät hyvin hauraiksi alhaisilla lämpötiloissa ja saattavat hajota käsitellessä.

Akkuun valittiin 51 mm (2") CALDA10 kuumavesiletku Salhydro Oy:stä (kuva 14). Kyseinen letku on valmistettu EPDM-kumista ja sen sisällä on tekstiilivahvike. Käyttölämpötila letkulla on -40 °C - +120 °C ja työpaine 10 baria [17]. Letkujen pituutta ei voi arvioida ennakkoon, mutta järkevintä on hankkia noin 10 m:n letkut. Letkuja voi ostaa toisenkin parin, jonka voi yhdistää ensimmäiseen, tuplaten letkujen pituuden.



Kuva 14 CALDA10 kuumavesiletku [17]

13.4 Lämpöeristys

Letkut on järkevä lämpöeristää ympäristöstä. Kun letkut ovat maata vasten käytettäessä, ne hukkaavat huomattavan määrän energiaa ympäristöön, etenkin jos akkua käytetään kauan pienellä teholla. Letkut on mahdollista eristää lasivillalla tai erilaisilla kumieristeillä. Lasivillalla eristäminen ei ole kovin käytännöllinen vaihtoehto, koska se sitoo vettä itseensä, jolloin sen eristävät ominaisuudet heikentyvät huomattavasti. Järkevä vaihtoehto on käyttää solukumiputkea letkujen eristämiseen.

Suomalainen eristejälleenmyyjä Kespel Oy myy K-Flexin valmistamaa ST-solukumiputkea. Tätä eristeputkea on saatavilla kiinteänä putkena ja halkaistuna, joka liimataan yhteen asennettaessa. Halkaistu putki ei kuitenkaan kestä kuin 85 °C:n lämpötilan, joten sitä ei voida käyttää tässä sovelluksessa. Kiinteän putken käyttölämpötila-alue on -165 °C - +110 °C [18]. Tätä mallia on saatavilla 6 - 50 mm eristevahvuudella.

Eristeputken ei sovi olla kovin paksu tässä käyttötarkoituksessa, jotta letkuja voi taivuttaa tarvittaessa. Paksu solukumiputki saattaa murtua jos sitä taivuttaa liian jyrkästi. Sopiva eristeen vahvuus on noin 15 mm.

13.5 Pikaliittimet

Pikaliittimissä on runsaasti eri vaihtoehtoja, joista valita. Mentäessä yli yhden tuuman kokoluokkaan valikoima kutistuu rajusti. Vahvimmat vaihtoehdot ovat nokkavipu- ja TW-liittimet. TW-liitin on helpompi käyttää ahtaassa tilassa, kuten säiliöperävaunussa. Letkujen pikaliittimiksi valittiin säiliöautoissa yleisesti käytössä olevat Tankwagen (TW) liittimet DIN 28450 (kuvat 15 ja 16). Näitä myy Suomessa muun muassa SalHydro Oy.

TW-liittimiä on saatavilla messinkisinä ja ruostumattomasta teräksestä valmistettuina. Tähän käyttöön valittiin teräksiset liittimet. Näissä liittimissä on tiivisteet naaraspuolella. Niitä on saatavilla letkusovitteella sekä putkikierteellä. Järkevin asennustapa on laittaa urosliittimet käyttökohteeseen ja akkuun, jolloin letkuihin tulee vivulliset naaraspäät. Kyseisiin liittimiin on saatavilla tulppia sekä hattuja. Mikäli letkuihin ostetaan tulpat, niitä ei tarvitse valuttaa aina käytön jälkeen tyhjäksi ennen kyytiin lastausta. Jos letkuihin jättää vettä sisään, niin ilmaustarve vähenee seuraavassa käyttökohteessa. Letkut ovat tosin raskaampia käsitellä, mikäli niissä on vettä sisällä (kuva 18). Letkun irrotuksen jälkeen urospäähän on suositeltavaa asentaa hattu liittimet päälle, jolla saa pidettyä epäpuhtaudet poissa järjestelmästä (kuva 17). Urosliittimet valittiin 2" putkikierteellä ja naarasliittimet 2" letkupäällä.



Kuva 15 TW Naarasliitin letkupäällä [13]



Kuva 16 TW urosliitin sisäkierteellä [14]



Kuva 17 TW hattu urosliittimeen [15]



Kuva 18 TW tulppa naarasliittimeen [16]

13.6 Instrumentointi

Lämpöakkuun tulee asentaa osoittavat lämpömittarit lämmönvaihtimen vesipuolen molempiin linjoihin. Myös akun puolen molempiin linjoihin on asennettava osoittavat lämpömittarit. Säiliöön on myös järkevä asentaa osoittava lämpömittari. Neste jäähtyy nopeasti putkessa, joten mittarista ei näe ydinlämpötilaa säiliössä luotettavasti. Instrumentointi on nähtävissä PI-kaaviossa liitteessä 2.

14 Energiamittari

Lämpöakussa täytyy jollain keinolla saada mitattua kohteessa kulutetun lämpöenergian määrä, jotta sen käytöstä voidaan laskuttaa oikea summa. Yksinkertaisimmillaan akusta voitaisiin ottaa kertaluontoinen käyttömaksu, riippumatta siitä, kuinka paljon asiakas on käyttänyt energiaa akusta. Tämä malli tosin saattaa karkottaa pienempiä asiakkaita.

Toinen tapa laskea käytetty energia olisi katsoa akun lämpötila ennen ja jälkeen käyttöä. Tämä tosin vaatisi sitä, että henkilökuntaa on paikalla heti, kun akun käyttö lopetetaan.

Järkevin vaihtoehto on asentaa akkuun lämpöenergiamittari, joka rekisteröi käytetyn lämpöenergian määrän. Tämä tosin rajoittaa mittauksen vain niihin kohteisiin, joissa käytetään lämmönvaihainta. Muille kohteille, joissa akkua käytetään huomattavasti harvemmin, täytyy sopia laskutustapa etukäteen.

Energiamittari asennetaan kaikille kiinteille kaukolämpöasiakkaille, ja siitä nähdään valitulla aikavälillä, kuten laskutuskaudella, kulutetun lämpöenergian määrä. Näitä mittareita voidaan käyttää myös lämpölaitosten sisäisiin mittauksiin, kuten esimerkiksi mittaamaan lämpöhäviöitä verkostossa.

Energiamittareita saa monilta eri valmistajalta. Tuusulan Energia Oy:llä on käytössä Kamstrupin mittarit, joten akkuun tuleva mittari valittiin myös heiltä. Kamstrupin mittareista voi lukea hetkellisen meno- ja paluulämpötilan sekä niiden erotuksen 0,01 K:n tarkkuudella. Mittari kertoo myös hetkellisen virtausnopeuden sekä lämpötehon. Mittari ilmoittaa myös kokonaislämmönkulutuksen sekä virtaaman ja käyttötunnit. Rakenteeltaan Kamstrupin lämpöenergiamittarit ovat hyvin yksinkertaisia. Ne koostuvat kahdesta lämpöanturista, virtausanturista, sekä päätelaitteesta. Komponenttien kytkennät akkuun näkyvät liitteessä 2.

14.1 Virtausanturi

Energiamittareita on saatavilla myös glykoljärjestelmille, mutta niiden virtausmittaus ei ole luotettava, joten sitä ei voida käyttää laskutukseen. Glykolvirtausanturit on suunniteltu maksimissaan 30 % glykolseokselle ja niiden luotettavuus on 94 % [8]. Nämä mittarit on tarkoitettu suuntaa antaviksi mittareiksi sisäiseen käyttöön. Tästä syystä energiamittari tulee asentaa vaihtimen vesipuolelle. Näin saadaan sertifioitu mittaustulos käytetystä lämpöenergian määrästä.

Asennus vesipuolelle aiheuttaa sen, että ilmaus ja vedenpoisto virtausanturista on saatava tehtyä nopeasti. Virtausanturissa ei saa olla yhtään ilmaa sisällä, jotta se toimii luotettavasti. Tästä syystä se tulee asentaa matalaan kohtaan, ja vielä mielummin pystyasentoon. Pystyasennossa ilma pääsee poistumaan anturista helposti, jos sitä joutuu sinne. Kyseinen anturi ei myöskään vaadi suoraa putkiosuutta ennen anturia virtauksen stabiloimiseksi. Tämä on todella hyödyllinen ominaisuus kyseisessä käytössä, koska tilaa tulee olemaan hyvin rajoitetusti. Virtausanturit asennetaan putkeen, joko kierre- tai laippaliittimillä. Virtausantureita on saatavilla moniin eri putkikokoihin (kuva 19).

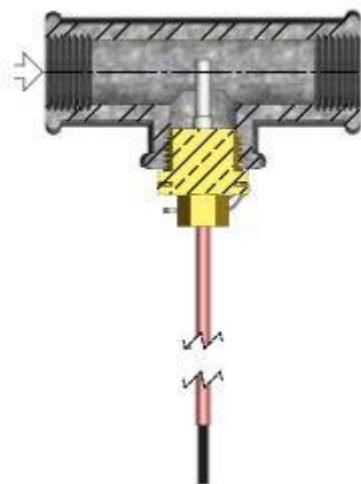
Kamstrupin anturit perustuvat ultraäänellä tapahtuvaan mittaukseen. Anturi lähettää ultraäänipulssin myötä- ja vastavirtaan. Pulssi kimpoaa vastakkaisesta seinämästä takaisin. Näiden kahden pulssin kulkemiseen kuluneiden aikojen erosta saadaan laskettua virtausnopeus. Anturiputken halkaisija on tarkoin määritetty, joten tästä saadaan laskettua tilavuusvirta.



Kuva 19 Kamstrupin virtausantureita [9]

14.2 Lämpöanturit

Lämpöenergiamittari vaatii toimiakseen kaksi lämpöanturia (kuva 20). Yhden mittaamaan menoveden (kuuman puolen) lämpötilaa, ja yhden mittaamaan paluuv veden (kylmän puolen) lämpötilaa. Nämä anturit asennetaan vesiputkiin kiinteästi. Putken kylkeen tehdään reikä, johon hitsataan kiinni kierreholkki. Tämä kierreholkki on mittatasku, mihin lämpöanturin saa kierrettyä kiinni. Vaihtoehtoisesti. Putkeen voi myös asentaa T-haaran, johon lämpöanturin saa liitettyä. Anturin kärki tulee saada keskelle putkea, missä virtaus on voimakkaita. Lämpöanturit tulevat tehtaalta aina pareittain. Jos niitä pitää uusia, tulee aina vaihtaa molemmat, koska ne on tehtaalla paritettu keskenään. Energiamittarin toiminnalle ei ole oleellista yksittäinen meno- tai paluulämpötila vaan näiden erotus. Anturit on sen johdosta tehtaalla kalibroitu pareiksi, jotta lämpötila-ero on varmasti oikein.



Kuva 20 Lämpöanturi [10]

14.3 Päätelaitte

Kamstrupilla on useita eri tuotesarjoja energiamittauslaitteista. Tuotesarjat lajitellaan lämpötilojen, tilavuusvirtojen ja käyttökohteiden mukaan. Ainoa tähän käyttöön soveltuva on Multical 801-sarja, jonka mittarit ovat vesi- ja pölytiivitä IP67-suojaluokituksella. Vesitiivis mittari on suositeltava tähän käyttöön. Se tulee sijoittaa samaan tilaan missä on lämmönvaihdin ja letkuliitännät sekä ilmausventtiilit, joten siellä tulee olemaan vesiroiskeita. IP67-suojaluokitus testataan muun muassa upottamalla laite metrin syvyyseen veteen puoleksi tunniksi

Kuvan 21 Multical 801:ssä on myös sisäänrakennettu venttiilinohjainmoduuli. Tämän ansiosta akkujärjestelmään ei tarvita erillistä ohjainlaitetta automaation toteutukseen. Akkuun täytyy asentaa vain yksi moottoriventtiili vaihtimen vesipuolelle, joka rajoittaa virtauksen haluttuun arvon. Tämän ansoista venttiiliä ei tarvitse säätää käsin suuremmalle teholle, kun akun lämpötila alkaa laskea. Pumppu voidaan pitää täydellä teholla, ja energiamittari ohjaa venttiiliä avautumaan, jolloin tilavuusvirta kasvaa, lämpötilan laskiessa.



Kuva 21 Energiamittarin päätelaite [11]

15 Yhteenveto

Tätä insinöörityötä tehdessä jouduin yhdistämään koulussa sekä työelämässä hankkimaani osaamista. Ne tukivat hyvin toisiaan, komponenttipuolen olen oppinut töissä, ja termodynaaminen laskenta on tullut koulussa tutuksi. Haastavin asia tässä työssä oli löytää lämpöakkuun sopiva pumppu, joka toimii riittävät alhaisessa lämpötilassa glykolseoksella, eikä ole mahdottoman suurikokoinen. Lämmönvaihtimista opin myös paljon uutta niitä tutkiessani.

Arvioisin että akku voidaan toteuttaa hyvin tässä työssä pohdittujen asioiden perusteella. Mahdollisia muutoksia voidaan joutua tekemään komponenttien putkikokoihin. Hankittavan säiliön tilavuus saattaa aiheuttaa muutoksia työssä pääteltyihin asioihin, mikäli se eroaa suuresti tässä käytetystä esimerkistä.

Lähteet

1. Tuusulan kunta 2016. Verkkodokumentti luettu 16.10.2016
https://www.tuusula.fi/sivu.tmp? sivu_id=1424
2. Engineering toolbox. Verkkodokumentti luettu 15.2.2017
http://www.engineeringtoolbox.com/propylene-glycol-d_363.html
3. Energiatukku. Verkkodokumentti luettu 3.3.2017
http://energiatukku.fi/index.php?route=product/product&path=46_47_49&product_id=114
4. Viflow. Verkkodokumentti luettu 24.2.2017
<http://www.viflow.fi/uploads/tiivisteelliset.pdf>
5. Alang Marine Machinery. Verkkodokumentit luettu 13.2.2017
<http://alangmarinemachinery.com/Plate-Heat-Exchangers.php#prettyPhoto>
6. <http://alangshipmachinery.com/wp-content/gallery/plate-heat-exchanger/plate-heat-exchanger-2.jpg>
7. Viflow. Verkkodokumentti luettu 24.2.2017 <http://www.viflow.fi/uploads/juotetut.pdf>
8. Kamstrup. Verkkodokumentti luettu 12.3.2017
<http://products.kamstrup.com/ajax/downloadFile.php?uid=54da082d87aa3&display=1>
9. Verkkodokumentti luettu 12.3.2017 <https://www.kamstrup.com/fi-fi/products-and-solutions/thermal-energy-meters/flow-sensors>
10. Verkkodokumentti luettu 12.3.2017
<http://products.kamstrup.com/ajax/downloadFile.php?uid=515ad2aec961&display=1>

11. Verkkodokumentti luettu 13.3.2017

<http://products.kamstrup.com/ajax/downloadFile.php?uid=51da727985f23&display=1>

12. Grundfosin konfiguraattori. Verkkodokumentti luettu 15.3.2017

http://product-selection.grundfos.com/product-detail.liquids.html?from_suid=148965280924003808504945185729&lqid=204103942&pumpsystemid=204124796&qcid=204126907

13. Salhydro. Verkkodokumentti luettu 25.3.2017

<http://www.salhydro.fi/fi/sailioautoliittimet-din-28450-hst/mkc-ss-tw-liitin-naaras-clamp-karalla-hst>

14. Salhydro. Verkkodokumentti luettu 25.3.2017

<http://www.salhydro.fi/fi/sailioautoliittimet-din-28450-hst/vk-ss-tw-liitin-uros-sisakierteella-hst>

15. Salhydro. Verkkodokumentti luettu 25.3.2017

<http://www.salhydro.fi/fi/sailioautoliittimet-din-28450-hst/mb-ss-hattu-tw-liittimeen-hst>

16. Salhydro. Verkkodokumentti luettu 25.3.2017

<http://www.salhydro.fi/fi/sailioautoliittimet-din-28450-hst/vb-ss-tulppa-tw-liittimeen-hst>

17. Salhydro. Verkkodokumentti luettu 25.3.2017 <http://www.salhydro.fi/fi/vesiletkut-1/calda10-kuumavesiletku>

18. Kespet. Verkkodokumentti luettu 27.3.2017

<http://www.kespet.fi/documents/111696/466096/Kespet+Tekniset+Eristeet+2017/2f089246-19bf-4a32-b3b6-65dcaa4e15ef>

19. Danfoss. Verkkodokumentti luettu 21.3.2017

http://pcmpictures.danfoss.com/pcm/images/pcmpictures/ImageCache/306600_20_3.jpg

20. Verkkodokumentti luettu 21.3.2017

http://heating.danfoss.com/PCMPDF/VB00C620_Moottoriventtiilit.pdf

21. Verkkodokumentti luettu 21.3.2017

<http://products.danfoss.fi/productdetail/heatingsolutions/saatoventtiilit-ja-toimimoottorit/yleiskuva-istukkaventtiileista/venttiilit-lammityksen-ja-jaahdytyksen-sovelluksiin/2-tieventtiilit/vf-2/065z0280/#/>

22. Corecon. Verkkodokumentti luettu 22.3.2017 [http://www.corecon.fi/wp-](http://www.corecon.fi/wp-content/uploads/2016/12/danfoss_type_vf2.jpg)

[content/uploads/2016/12/danfoss_type_vf2.jpg](http://www.corecon.fi/wp-content/uploads/2016/12/danfoss_type_vf2.jpg)

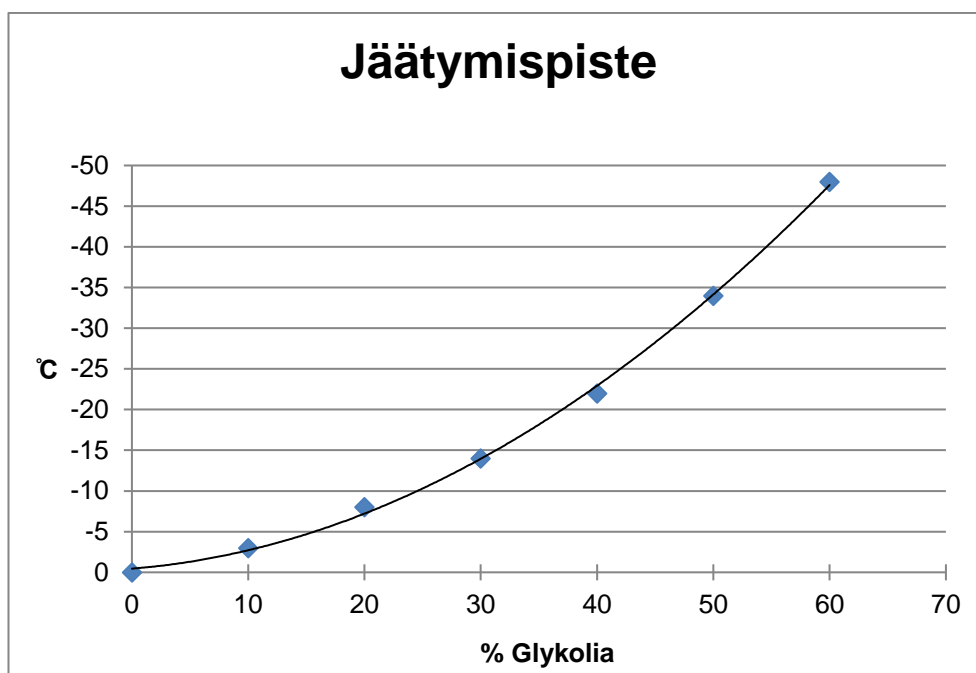
23. Kutepa. Verkkodokumentti luettu 12.2.2017 [http://www.kutepa.fi/kuljetuskalustojen-](http://www.kutepa.fi/kuljetuskalustojen-valmistus/wp-content/uploads/sites/6/2013/06/wp_000645-800x800.jpg)

[valmistus/wp-content/uploads/sites/6/2013/06/wp_000645-800x800.jpg](http://www.kutepa.fi/kuljetuskalustojen-valmistus/wp-content/uploads/sites/6/2013/06/wp_000645-800x800.jpg)

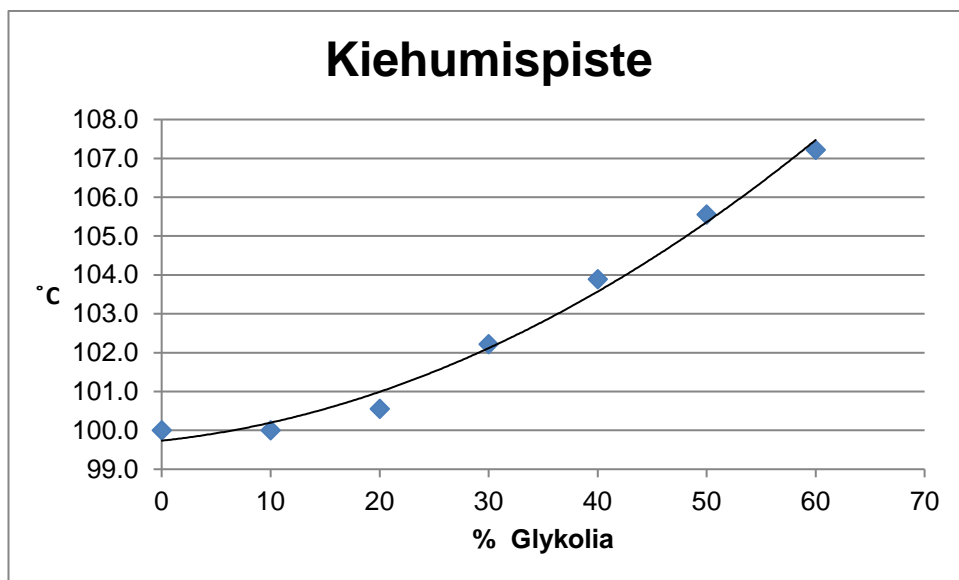
24. Grundfos. Verkkodokumentti luettu 15.3 2017

https://product-selection.grundfos.com/product-detail.guided-selection.koteloitu%20roottori.sizing%20result.html?from_suid=14905402860490615889151595808&hydraulicgroup=207798748&pumpdesign=1&pumpsystemid=207798778&qcid=207798793

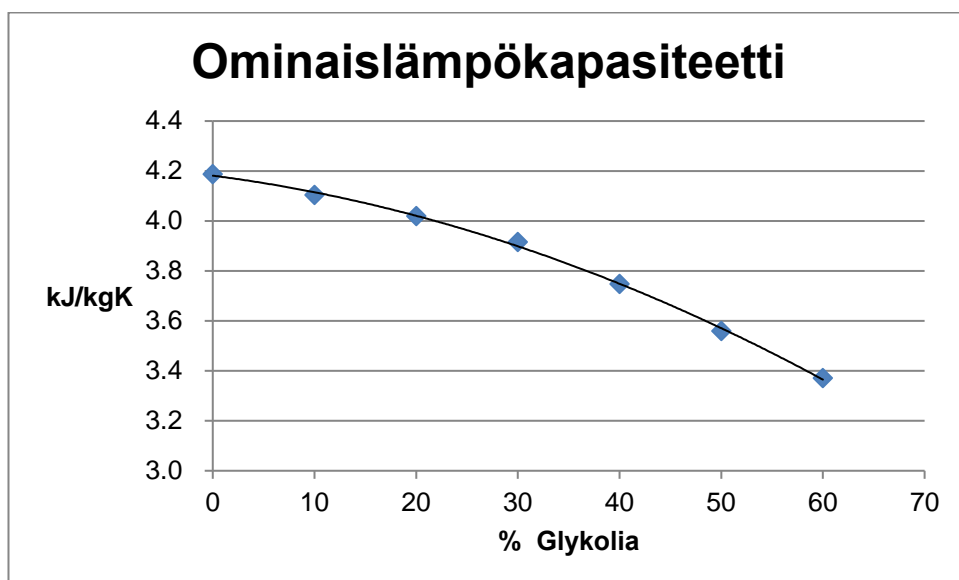
Glykol-seoksen kaaviot



Kuvaaja 1 Vesi-glykolseoksen jäätymispiste

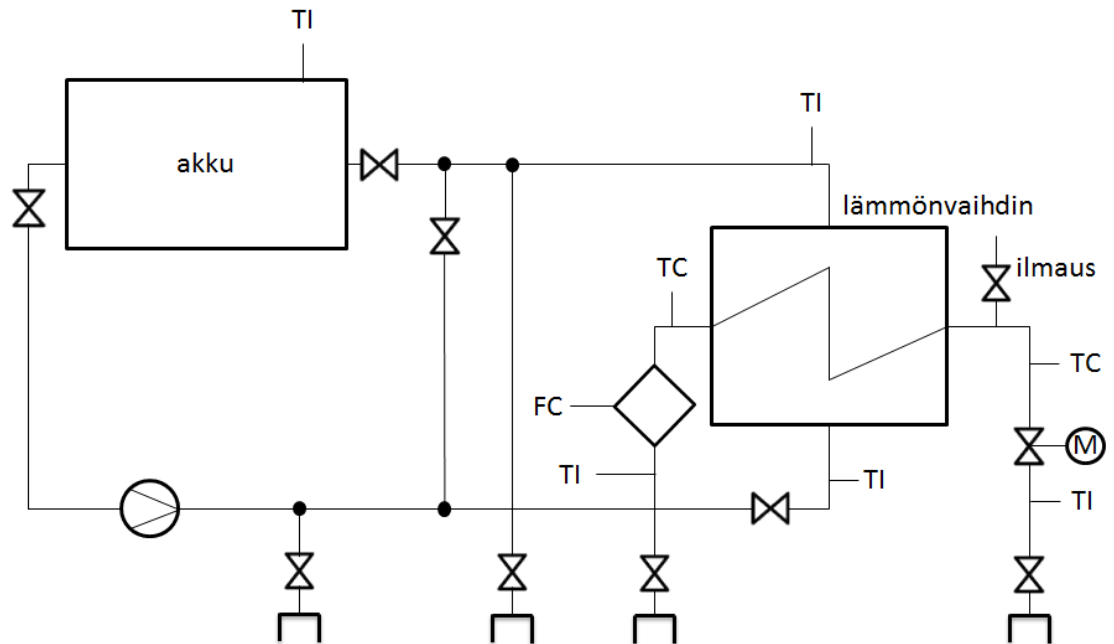


Kuvaaja 2 Vesi-glykolseoksen kiehumispiste

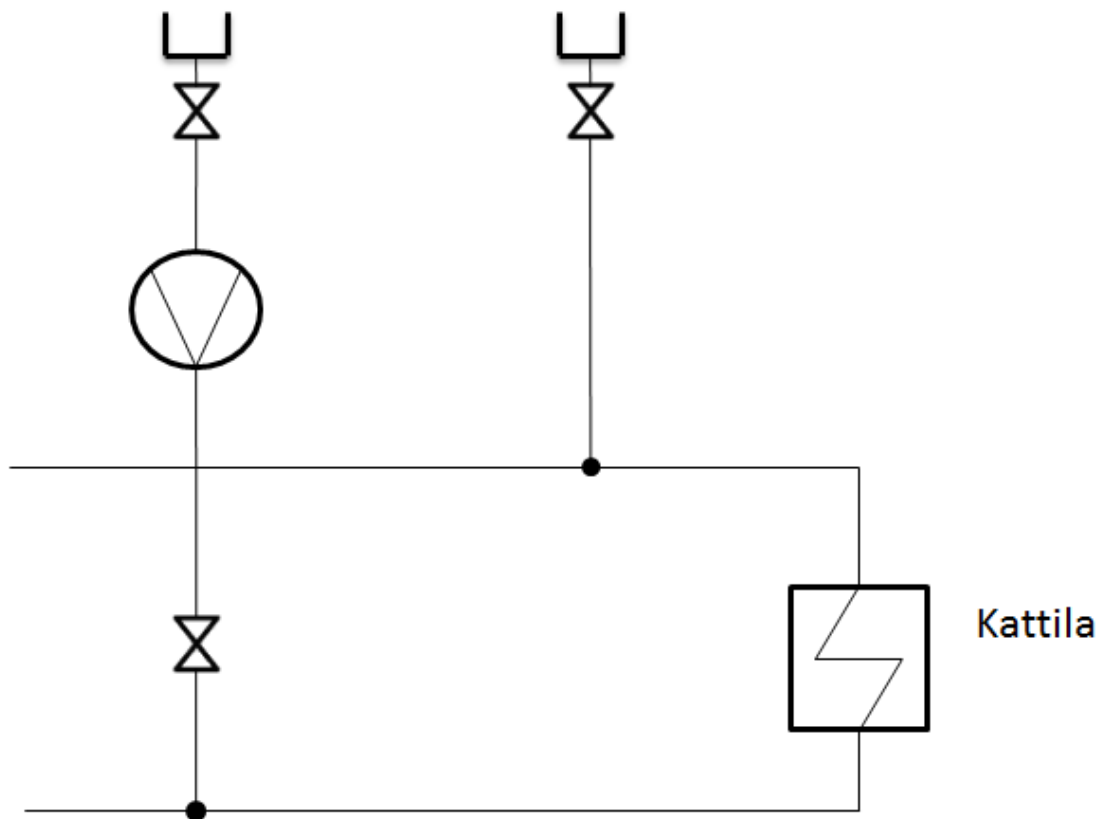


Kuvaaja 3 Vesi-glykolseoksen ominaislämpökapasiteetti

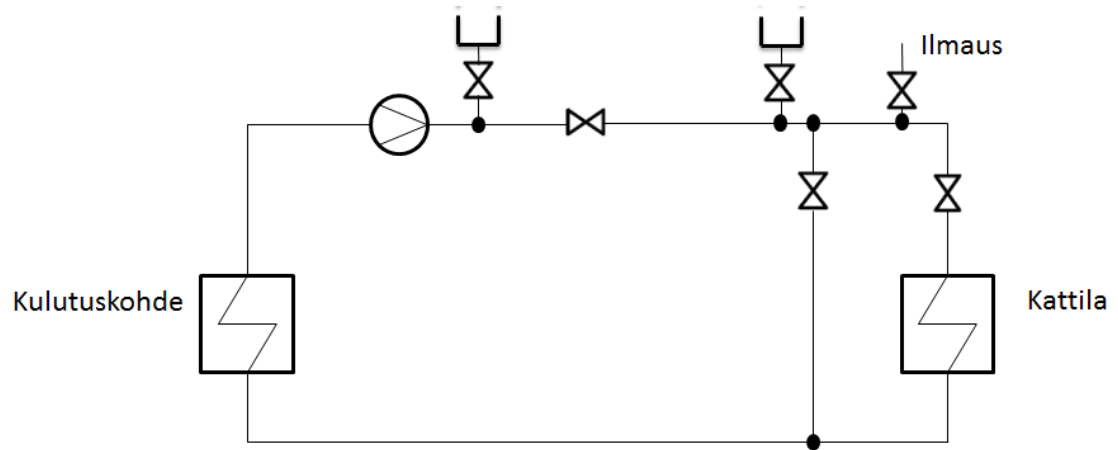
Lämpöakun PI-kaavio



Kuva 1 Lämpöakku



Kuva 2 Lämpöakun latauspiste



Kuva 3 Lämpöakun käyttökohde